

## ATTENUAZIONE DEGLI EFFETTI DEL MULTIPATH NEL POSIZIONAMENTO GPS

Aldo TRECROCI, Giuseppe ARTESE, Marcello GENCARELLI

(\*) Università della Calabria – Dipartimento di Pianificazione Territoriale – Cubo 46b  
87036 Arcavacata di Rende (CS) – Tel. 0984496778 – Fax 0984496787  
email aldo.trecroci@unical.it ; g.artese@unical.it ; mgencarelli@unical.it

### Riassunto

Nel presente lavoro, dopo un'introduzione che esamina lo stato dell'arte in materia evidenziando le diverse linee di ricerca ed i risultati finora raggiunti, vengono analizzate le possibilità di attenuazione degli effetti del multipath per mezzo di supporti per antenne costituiti da materiale assorbente. Alcune prove sono state effettuate posizionando nello stesso punto diverse antenne e comparando i risultati ottenuti. Vengono utilizzati software per il controllo di qualità dei segnali. I risultati ottenuti vengono mostrati e commentati.

### Abstract

In the paper, after an introduction that examines the state of the art in the field by highlighting the various lines of research and the results achieved so far, the possibility of mitigating the effects of multipath through a curtain for antennas made of absorbent material is investigated. A test has been carried out by placing in the same place antennas with and without the absorbent material and the results obtained have been compared, by using a well-known quality control software. The results obtained are shown and commented.

### Introduzione

Tra le cause di disturbo nelle misurazioni GPS, una delle più importanti e per questo motivo oggetto di studio e di attenzione da parte della comunità scientifica è senz'altro quella dovuta al multipath.

Il multipath, come noto, è un allungamento del percorso del segnale proveniente dal satellite al ricevitore per effetto di fenomeni di riflessione su superfici prossime al ricevitore stesso.

La difficoltà maggiore nella modellazione del multipath consiste nella sua stretta dipendenza dall'ambiente ove è collocato il ricevitore e pertanto dalla singolarità della sua manifestazione. Per questo motivo esso non può essere rimosso per mezzo di operazioni differenziali aventi validità generale indipendenti dallo specifico sito.

Il multipath provoca distorsioni nelle misurazioni effettuate sia con misure di codice (C/A e P) che con misure di fase. Il segnale è comunque sempre ritardato, rispetto al suo tempo teorico di viaggio nell'ipotesi di percorso perfettamente rettilineo dal satellite al ricevitore, per effetto delle successive riflessioni che esso subisce.

Un interessante studio (J.H. Williams et al., 2000) ha posto in relazione quattro differenti tipologie di multipath, misurando il rapporto tra la potenza del segnale "utile" misurato e quella del segnale distorto per effetto del multipath. Le prime due differenti tipologie di multipath sono dovute alla riflessione del segnale su edifici con pareti verticali o sul terreno nei pressi del sito ove è collocata l'antenna. Nel primo caso la riflessione, per bassi angoli di elevazione del satellite genera un'inversione della polarizzazione del segnale che può essere riconosciuta e filtrata dall'antenna; nel secondo caso invece il segnale proveniente da angoli inferiori a quello di orizzonte (minori di 0°) subisce o meno inversione della polarizzazione in funzione della tipologia del suolo.

Le seconde due tipologie di multipath sono invece dovute alla diffrazione del segnale su pareti verticali, quali edifici, o sul suolo circostante l'antenna. In questo caso l'effetto cumulativo del disturbo viene modellato come un rumore di misurazione (M. Brenner et al., 1998).

Nella figura 1 vengono illustrate le quattro situazioni sopra descritte evidenziando con l'abbreviazione RHCP il segnale che non subisce inversione della polarizzazione (*Right Hand Circular Polarization*) e con LHCP quello che invece subisce inversione della polarizzazione (*Left Hand Circular Polarization*).

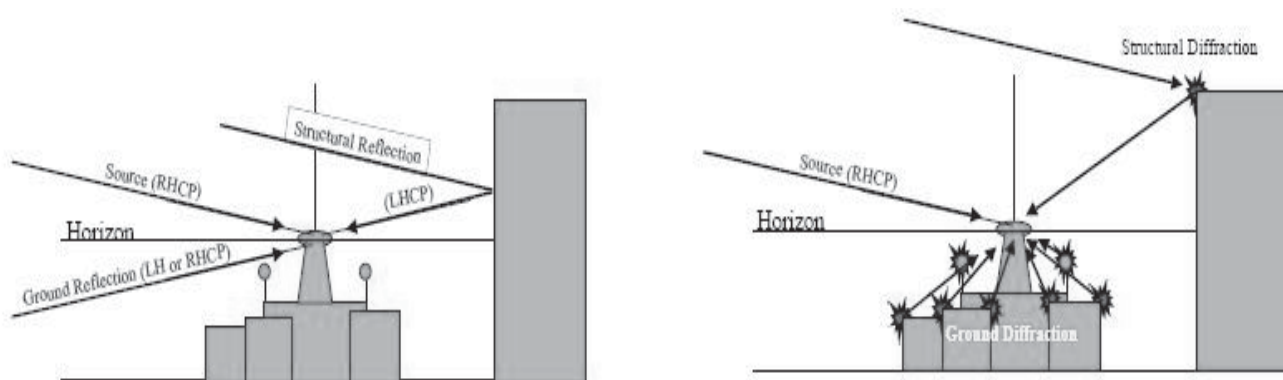


Fig. 1 – Differenti tipologie di multipath, a sinistra per riflessione e a destra per diffrazione del segnale

Le tecniche adottate per la riduzione degli effetti del multipath sono molteplici. Oltre all'ovvia scelta del sito, che dovrebbe essere privo di ostacoli in modo da permettere la ricezione del segnale dei satelliti in maniera diretta anche per bassi angoli di elevazione dall'orizzonte, si è sperimentato che è opportuno collocare l'antenna ad un'altezza di almeno un metro sopra la superficie del suolo (per altezze dell'antenna inferiori ad un metro rispetto al suolo sono stati misurati disturbi dovuti al multipath superiori da cinque a dieci volte quelli relativi alla stessa situazione con l'antenna posta ad un'altezza di circa cinque metri).

Inoltre nel corso degli anni sono state perfezionate antenne quali le choke ring e le groundplane che riescono a mitigare notevolmente i disturbi dovuti al multipath. Lo stesso risultato tendono a conseguire i ricevitori basandosi su tecniche di filtraggio che eliminano i segnali aventi potenza più bassa o con caratteristiche di polarizzazione differenti da quelle originarie.

La ciclicità delle posizioni satellitari con riferimento ad uno specifico sito ha suggerito tecniche di *mapping* del multipath utilizzando osservazioni ripetute ad intervalli regolari di tempo e antenne paraboliche praticamente esenti da rumore di multipath (C.Meertens, 2000).

Interessanti tecniche di filtraggio basate su algoritmi ai minimi quadrati sono state sperimentate per le stazioni permanenti operanti con continuità (*continuously operating GPS stations o CGPS*) (Linlin GE et al., 2001). Nel caso specifico è stato studiato un filtro orientato ad identificare le mutazioni del multipath in conseguenza di eventi particolari quali terremoti, eruzioni vulcaniche, etc. piuttosto che il disturbo in se stesso.

Attualmente la valutazione dei disturbi dovuti al multipath viene spesso eseguita tramite il software TEQC (*Traslate/Edit/Quality/Check*) free e open source sul sito della UNAVCO.

### Analisi del multipath con il software TEQC

Il software TEQC provvede ad uno *screening* del segnale ricevuto effettuando un controllo di qualità dello stesso. Una delle cause di rumore esaminate è quella dovuta al multipath.

Le equazioni di base utilizzate dal TEQC per lo sviluppo del modello di valutazione del multipath sono le equazioni alle distanze per l'osservabile codice e l'osservabile fase (W.A.Holler et al., 2005):

$$PD_{ir}^s = \rho_{ir}^s + (dt^s - dt_r) + I_{ir}^s + T_{ir}^s + M_{PD_{ir}^s} + \varepsilon_{PD_{ir}^s} \quad (1)$$

$$\Phi_{ir}^s = \rho_{ir}^s + (dt^s - dt_r) + \lambda_i N_{ir}^s - I_{ir}^s + T_{ir}^s + M_{\Phi_{ir}^s} + \varepsilon_{\Phi_{ir}^s} \quad (2)$$

Nelle equazioni di cui sopra il significato dei simboli è riassunto nella tabella seguente:

Simbolo	Significato	Simbolo	Significato
i	Frequenza (L1 o L2)	$\Phi_{ir}^s$	Misura di fase per $\lambda_i$
$\rho_r^s$	Distanza ricevitore satellite	$M_{PD_i}$	Errore dovuto al multipath della pseudodistanza (i)
$dt^s$	errore dell'orologio sul satellite	$M_{\Phi_i}$	Errore dovuto al multipath sulla fase (i)
$dt_r$	errore dell'orologio sul ricevitore	$PD_i$	Pseudodistanza
$I_r^s$	Errore ionosferico	$N_{ir}$	Numero delle ambiguità intere sulla fase i
$T_r^s$	Errore troposferico	$\varepsilon_{PD_i}^s$ e $\varepsilon_{\Phi_i}^s$	Termini di rumore sulla pseudodistanza e sulla misura di fase (i)

Tab. 1 – Significato dei simboli nelle equazioni (1) e (2)

Effettuando la differenza delle due relazioni della (2) per  $i = 1$  e  $i = 2$  (prima e seconda frequenza di L1 e L2 rispettivamente pari a  $f_1 = 1.57542$  GHz e  $f_2 = 1.2276$  GHz), nell'ipotesi di percorsi dei segnali L1 e L2 identici nell'atmosfera, e tenendo conto che i termini di ritardo ionosferico  $I_1$  e  $I_2$  sono tra loro relazionati dalla:

$$I_2 = \alpha I_1 \quad (3) \quad \text{con} \quad \alpha = \frac{f_1^2}{f_2^2} \quad (4)$$

si ricava

$$\frac{\Phi_1 - \Phi_2}{(\alpha - 1)} = I_1 + \frac{\lambda_1 N_1 - \lambda_2 N_2}{(\alpha - 1)} + \frac{M_{\Phi_1} - M_{\Phi_2}}{(\alpha - 1)} \quad (5)$$

Combinando la (5), la (2) e la (1) e dopo alcune manipolazioni algebriche si ottengono i termini di multipath nella portante L1 e in quella L2 rispettivamente pari a:

$$MP_1 = PD_1 - \frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} \Phi_1 + \frac{2}{\alpha - 1} \Phi_2 \quad (6)$$

$$MP_2 = PD_2 - \frac{2}{\alpha - 1} \Phi_1 + \frac{\alpha + 1}{\alpha - 1} \Phi_2 \quad (7)$$

Le suddette equazioni sono ottenute trascurando i termini di multipath dovuti alla fase rispetto quelli relativi all'osservabile codice e i termini di bias derivanti dall'ambiguità di fase. Questi ultimi

vengono fissati dal TEQC inizialmente con il primo valore di multipath calcolato per un satellite interessando più che i valori assoluti del multipath, le sue variazioni nel tempo.

Il software TEQC ricava i valori di multipath  $MP_1$  e  $MP_2$  sulle portanti L1 e L2 rispettivamente. Tali valori sono preminentemente influenzati da quelli relativi alle osservazioni di codice. Dalle equazioni sopra riportate è evidente che il calcolo presuppone la disponibilità delle osservazioni di fase e di codice su entrambe le lunghezze d'onda portanti  $\lambda_1$  e  $\lambda_2$ . Quindi è necessario disporre di ricevitori a doppia frequenza.

Il multipath calcolato con i codici C/A e P sulla portante L1 (P1 multipath) e con il codice P sulla portante L2 (P2 multipath) può essere influenzato da fonti di rumore sia di origine interna (strumentale) come il rumore legato all'elettronica del ricevitore, sia di origine esterna come le interferenze elettromagnetiche prodotte da antenne trasmettenti che operano a frequenze vicine a quelle GPS (Betti et al., 1997), o la presenza di superfici riflettenti nei pressi del ricevitore.

L'output del TEQC fornisce una serie di *files* che descrivono la qualità del segnale ricevuto durante la sessione di lavoro ed informazioni sulle orbite dei satelliti. Utili ai fini dell'analisi del multipath sono i files con estensione \*.mp1 e \*.mp2 che riportano i valori di multipath di codice sulle portanti L1 e L2 rispettivamente.

Inoltre, come brevemente descritto nel capitolo introduttivo, il multipath proveniente da angoli inferiori a  $0^\circ$  per riflessione o diffrazione, viene assimilato ad un rumore del segnale. Pertanto indicazioni utili possono essere ottenute dai files con estensione \*.sn1 e \*.sn2 del software TEQC che danno in output i valori del rapporto segnale rumore (S/N) in funzione dell'acquisizione.

I report riassuntivi forniscono inoltre i valori medi e gli scarti quadratici medi dei valori sopra detti e i valori di media mobile, sulle ultime 50 acquisizioni, del multipath.

### **La sperimentazione eseguita presso l'Università della Calabria**

È stato eseguito un test, acquisendo i segnali GPS con due ricevitori, utilizzati con e senza un sottostante pannello di un materiale 'assorbente' per le lunghezze d'onda L1 e L2 del segnale dei satelliti. Il pannello, del tipo utilizzato presso il Dipartimento di Elettronica dell'Università della Calabria per la costruzione di una camera anecoica, presenta cuspidi della lunghezza di circa 20 cm, e dovrebbe determinare un abbattimento del rumore proveniente per multipath sul terrazzo e quindi un miglioramento del rapporto S/N.

Sono state eseguite due sessioni di acquisizioni in due giornate consecutive allo stesso orario della durata di un'ora circa, con *rate* di 15 secondi. In questo modo le configurazioni dei satelliti osservate nei due giorni sono identiche ed è possibile sincronizzare precisamente le due sessioni di misurazione. Sono state utilizzate due antenne Trimble la prima modello Zephir Geodetic abbinata ad un ricevitore 5700 e la seconda una internal abbinata a ricevitore R6.

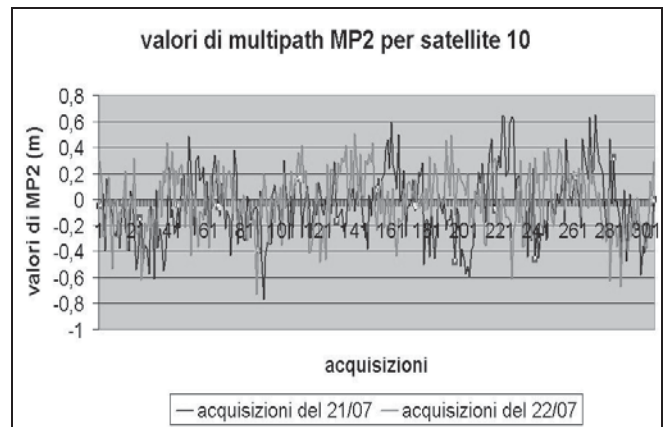
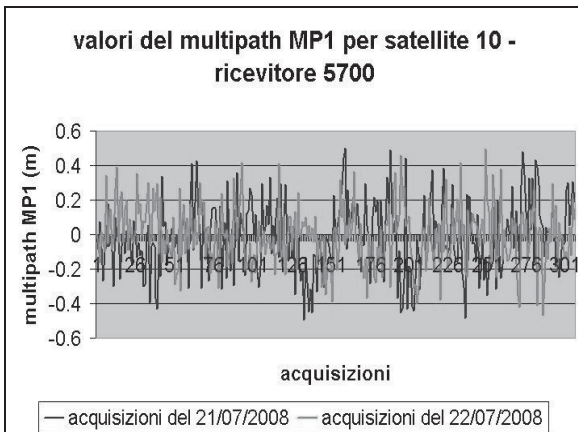
Nel corso della prima giornata di acquisizioni è stato applicato il supporto 'assorbente' all'antenna R6, mentre l'antenna abbinata al ricevitore 5700 ha acquisito senza supporto. L'inverso è stato fatto il giorno seguente.

Le analisi di qualità delle acquisizioni effettuate sono state eseguite utilizzando il software TEQC sopra descritto. In particolare oltre al report riassuntivo sono stati analizzati i report inerenti il multipath rilevato e il rapporto segnale rumore. Ovviamente, come detto, i dati di output opportunamente 'sincronizzati' si riferiscono a satelliti occupanti la medesima posizione in due giorni consecutivi.

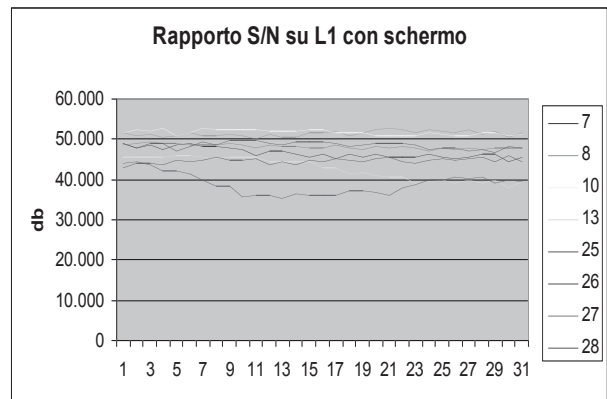
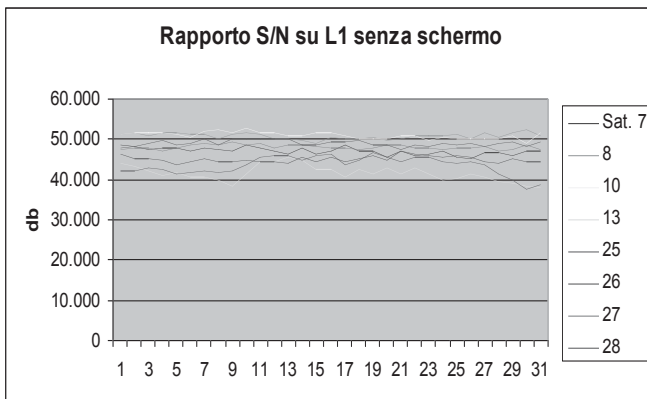
Nella figure 2 e 3 sono riportati i confronti tra i valori di *multipath* di codice sulle portanti L1 e L2 rispettivamente, rilevati con il ricevitore Trimble 5700 e l'antenna Zephir Geodetic, durante le acquisizioni del 21 e 22 luglio per il satellite 10.

Dai grafici non emergono significative differenze sostanziali sui valori medi e di picco del *multipath* rilevato.

Nei grafici riportati nelle figure 4 e 5 sono indicati i rapporti S/N sulla frequenza L1, rilevati durante le acquisizioni nei due giorni consecutivi, senza e con lo schermo con antenna zephir e ricevitore Trimble 5700.



Figg 2 e 3 – Valori di multipath di codice su prima e seconda portante per il satellite 10



Figg 4 e 5 – Rapporti S/N per 31 acquisizioni senza e con schermo per 8 satelliti.

Si osservano solo leggere variazioni, tranne che per i satelliti 13 e 25, come si evidenzia meglio nella figura 6. Per il satellite 13 si nota un leggero miglioramento, mentre l'opposto si verifica per il satellite 25. Il fenomeno è limitato ad un breve periodo, come si può osservare dalla figura 7.

### Conclusioni e futuri sviluppi

Il primo test eseguito non ha mostrato significative variazioni nei valori di *multipath* e del rapporto S/N. Si prevede di eseguire un ulteriore test, con acquisizioni più lunghe, e con diversa disposizione geometrica del pannello.

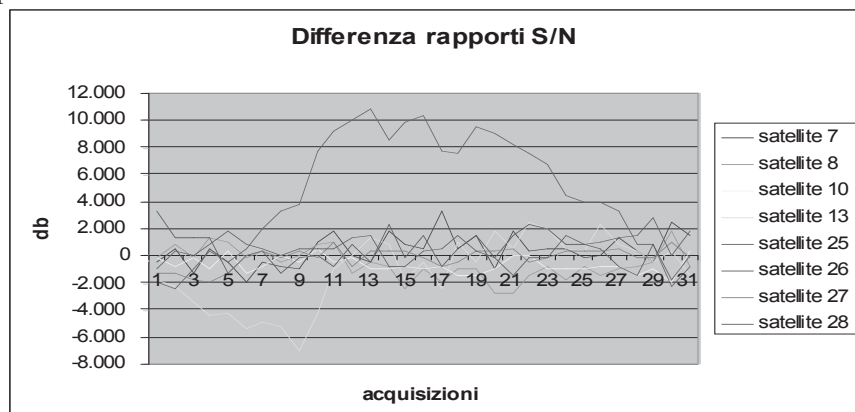


Fig 6 – Differenza tra i rapporti S/N senza schermo e con schermo.

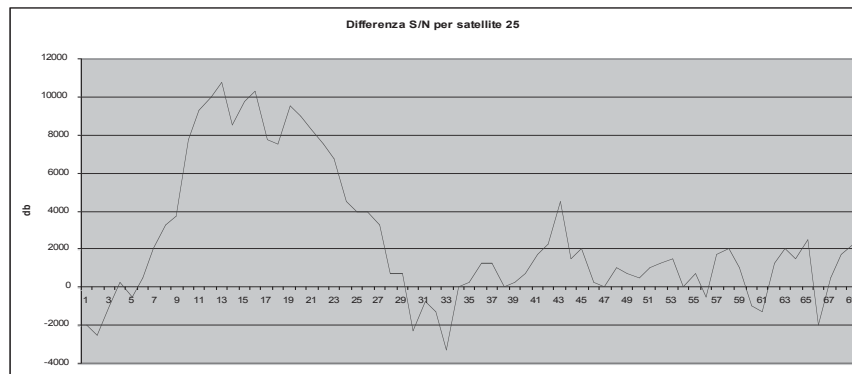


Fig 7 – Differenza tra i rapporti S/N per satellite 25 (70 acquisizioni).

### Bibliografia

Jonathan H. Williams, Robert J. Davis, Eddie N. Rosario - Multipath Mitigation Performance of Planar GPS Adaptive Antenna Arrays for Precision Landing Ground Stations - - The MITRE Corporation - 13th International Technical Meeting of 1 The Satellite Division of The Institute of Navigation Salt Lake City, Utah, September 2000

M. Brenner, R. Reuter, B. Schipper, "GPS Landing System Multipath Evaluation Techniques and Results," in Proc. ION GPS-98, pp. 999-1008.

Linlin Ge, Shaowei Han, and Chris Rizos - GPS Multipath Change Detection in Permanent GPS Stations School of Geomatic Engineering - The University of New South Wales - Sydney, NSW 2052, AUSTRALIA - Yuki Hatanaka Geographical Survey Institute - Ministry of Construction, Japan

Meertens, C, 2000. The Antenna and Multipath Calibration System website:  
[http://www.unavco.ucar.edu/projects/active\\_projects/amcs](http://www.unavco.ucar.edu/projects/active_projects/amcs).

W.A.Holler, B.Heck e C.P.Krueger, Estimation of the multipath effect using TEQC software – Universidade do Parana e Karlsruhe Universitat, 2005

Betti B., Cina A., Tombolini L. (1997). *The Turin Politecnico Permanent GPS station. Proceedings of the workshop on the Italian GPS permanent network*. F. Vespe and M. Fermi Editors. Telespazio. 123-132.